Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Biología
Carrera de Ingeniería en Biotecnología
Curso de Microbiología Aplicada
Profesora Olga Rivas Solano
I-2026
©Olga Rivas Solano 2026

Introducción al estudio de hongos, protozoos y microalgas

- **Diapositiva 1:**

Esta presentación es sobre el tema de Introducción al estudio de hongos, protozoos y microalgas. Este tema es muy amplio y podríamos tener todo un curso para cada uno de estos organismos. Sin embargo, debemos ver en una sola lección, las generalidades y lo más relevante de cada uno a nivel ecológico, clínico y biotecnológico.

- **Diapositiva 2:**

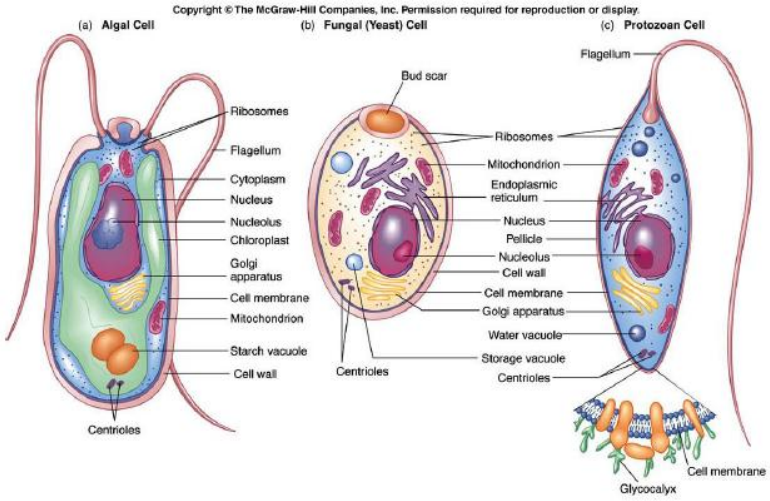
Programa

Semana N°5 16-20 marzo (V Congreso Institucional)	4. Introducción al estudio de hongos, algas y protozoos	**Sesión virtual asincrónica** • Actividad de aula invertida. Consignas disponibles en TEC Digital.11:25-11:30 am: Explicación de tarea grupal #2 sobre algas.	• Analizar el material de la actividad de aula invertida.

De acuerdo con el programa del curso, este tema en modalidad asincrónica, debido a que, en semana 5, estaré en el V Congreso Institucional.

- **Diapositiva 3:**

¿Qué tienen en común los hongos, protozoos y microalgas?



¿Por qué agrupamos estos tres tipos de microorganismos en una sola clase? ¿Qué tienen ellos en común? La respuesta es que todos son células eucariotas, a diferencia de las bacterias que estudiamos en las semanas 3 y 4. Entonces ellos tienen en común la presencia de un núcleo en el que se encuentra el material genético, así como diferentes organelas como retículo endoplásmico, aparato de Golgi, por ejemplo. También contienen diferentes tipos de estructuras que vamos a ir viendo a lo largo de la presentación.

- **Diapositiva 4:**

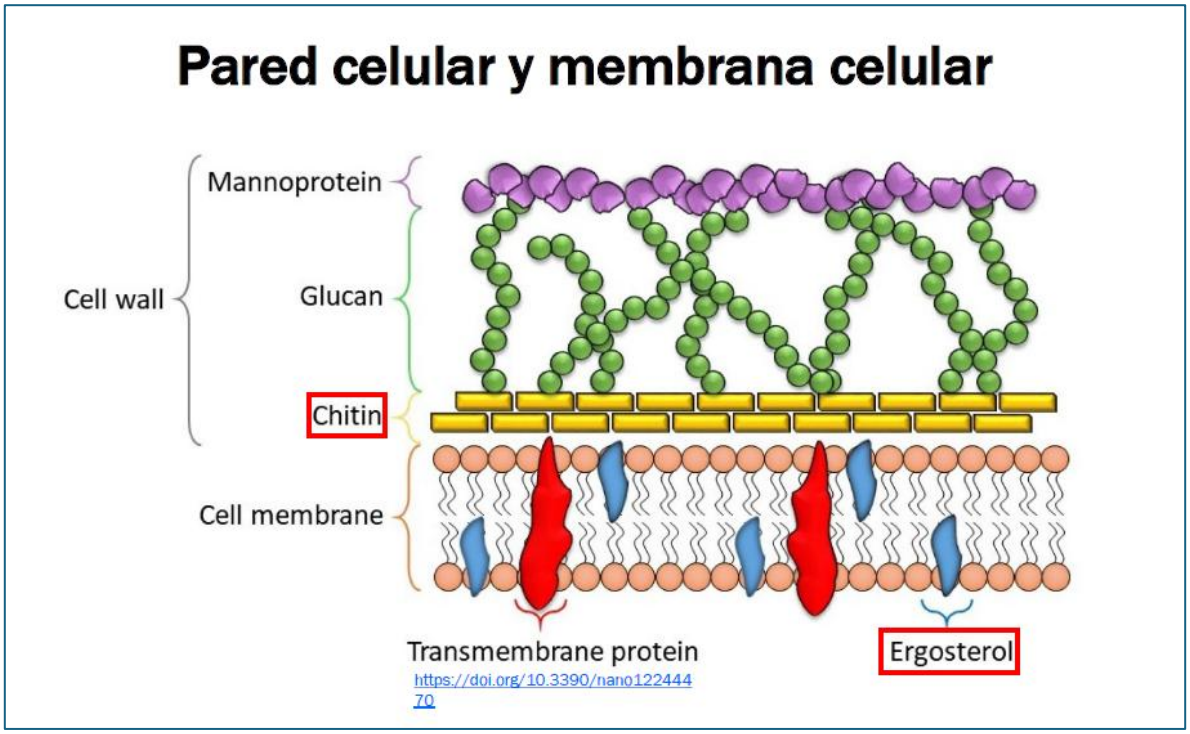
Vamos a iniciar con las generalidades y relevancia de los hongos.

- **Diapositiva 5:**

Los hongos son organismos verdaderamente ubicuos en la naturaleza. Se encuentran en ambientes terrestres, donde cumplen un papel fundamental al descomponer la materia vegetal muerta, actuando como saprófitos y participando activamente en el ciclo del carbono, que es un tema que vamos a retomar en la clase de Ecología Microbiana, pero rápidamente, el ciclo del carbono es el proceso mediante el cual el carbono circula continuamente entre los seres vivos y el ambiente. Por otro lado, los

hongos también pueden formar asociaciones simbióticas muy importantes, como los líquenes y las micorrizas, que benefician tanto a los hongos como a otros organismos. Además, algunos hongos pueden comportarse como parásitos de plantas, animales y seres humanos. Por último, no se limitan únicamente al ambiente terrestre, ya que también existen especies que habitan en ecosistemas acuáticos de agua dulce. Desde el punto de vista de su tamaño, los hongos se pueden clasificar en macrospóricos y microspóricos. Los macrospóricos son aquellos visibles a simple vista, como las setas. En cambio, los microspóricos incluyen organismos microscópicos, como las levaduras y los hongos filamentosos, comúnmente conocidos como mohos.

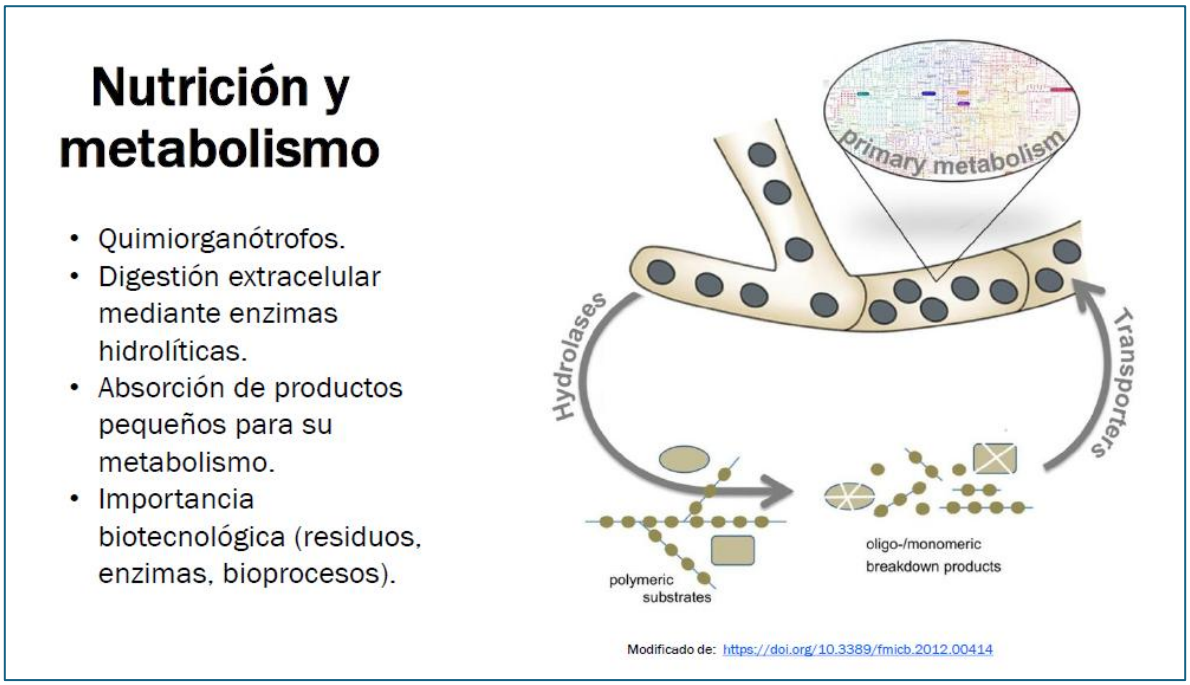
- **Diapositiva 6:**



Una de las características estructurales más distintivas de los hongos verdaderos es la composición de su pared y de su membrana celular. ¿A qué nos referimos cuando decimos “hongos verdaderos”? Los hongos verdaderos son los organismos que pertenecen al Reino Fungi. Más adelante vamos a ver que existen otros tipos de organismos que se parecen a los hongos verdaderos en su morfología o modo de vida, pero no pertenecen al reino Fungi. Es decir que son organismos con apariencia de hongo, pero que filogenética, estructural y bioquímicamente no son hongos verdaderos. Uno de los criterios para clasificar a un organismo en el reino Fungi, es la presencia de quitina en su pared celular. La quitina un polisacárido resistente que les proporciona soporte, rigidez y protección, y que los diferencia claramente de plantas y

bacterias. Por otro lado, la membrana celular de los hongos verdaderos se caracteriza por la presencia de ergosterol, un lípido muy específico de este grupo de organismos. Tanto la quitina como el ergosterol son componentes clave para la integridad celular y tienen gran relevancia en microbiología aplicada, porque constituyen blancos importantes para la acción de algunos antifúngicos.

- **Diapositiva 7:**



En cuanto a su metabolismo y nutrición, los hongos son quimiorganótrofos, es decir que no realizan fotosíntesis ni tienen clorofila, sino que obtienen su energía a partir de compuestos orgánicos. Para alimentarse, liberan al exterior una gran variedad de enzimas hidrolíticas que degradan polímeros de la materia orgánica en oligómeros y monómeros; luego, mediante transportadores de membrana, absorben estos productos pequeños y los incorporan a su metabolismo primario. En la imagen, se ilustra precisamente la acción de las enzimas hidrolasas sobre sustratos complejos, la generación de productos de degradación y su posterior transporte hacia la hifa. Desde el punto de vista biotecnológico, este tipo de nutrición y metabolismo es especialmente útil para el aprovechamiento de residuos orgánicos, la producción de enzimas industriales y el diseño de bioprocesos orientados a la conversión de sustratos complejos en productos de valor.

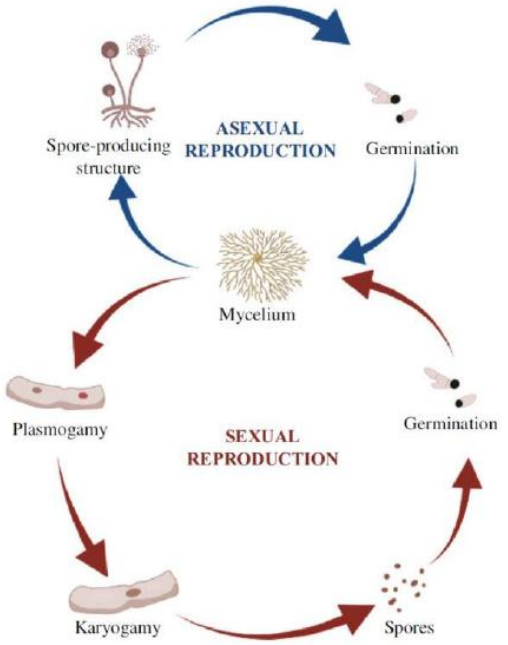
- **Diapositiva 8:**

Ciclo de vida

Hasta cuatro etapas:

1. Espora: estructura reproductiva (sexual o asexual)
2. Hifa: proviene de la germinación de la espora
3. Micelio: Hifas entrelazadas (cuerpo vegetativo)
4. Cuerpo fructífero sexual: diferenciación del micelio (no en todos los hongos)

https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.09.002



Los hongos pueden presentar hasta cuatro etapas en su ciclo de vida. Primero vamos a ver la etapa de espora, que es una estructura de reproducción, ya sea sexual o asexual. Cuando la espora encuentra condiciones adecuadas, germina y da origen a células somáticas que se organizan formando un filamento llamado hifa. A medida que las hifas crecen y se ramifican, se entrelazan y conforman una red conocida como micelio, que constituye el cuerpo vegetativo del hongo. En algunos grupos, este micelio puede agruparse, compactarse y elevarse para formar un cuerpo fructífero de reproducción sexual; pero es importante aclarar que no todos los hongos tienen la capacidad de formar este tipo de estructuras.

- **Diapositiva 9:**

Esporas

- Esporas: células de reproducción de los hongos
- Alta diversidad morfológica: forma, simetría y ornamentación
- Valor taxonómico: útiles para identificación y clasificación
- Nomenclatura variable: nombres distintos según el grupo taxonómico
- Tipos de esporas: asexuales, sexuales o ambas según especie y ambiente

https://faculty.fiu.edu/~gantarm/Experiment%203;%20Identification%20of%20Fungi.pdf

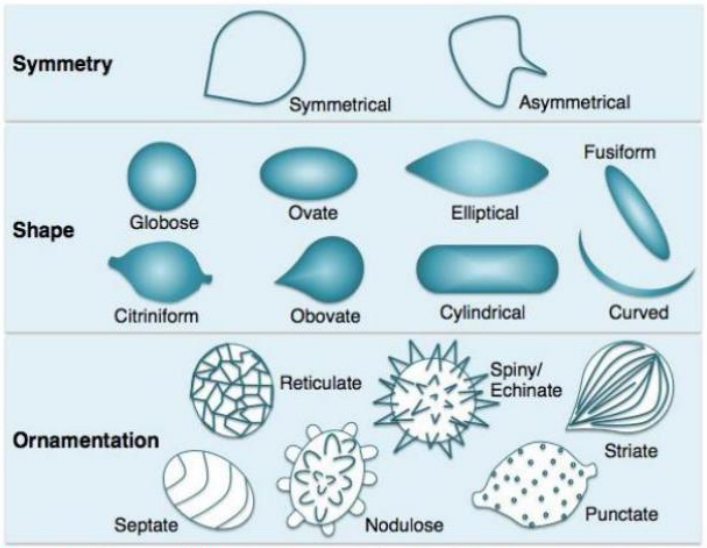


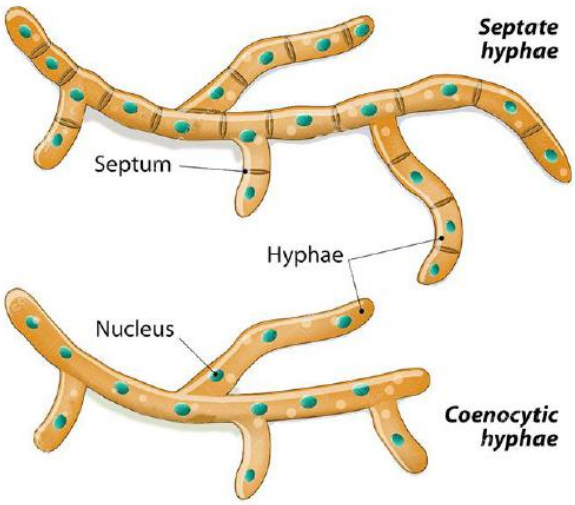
Figure 5. Diagram of fungal spore morphology including symmetry, shape, and ornamentation to aid in identification.

Las esporas son células de reproducción de los hongos y pueden presentar una gran diversidad de formas y estructuras. Como se observa en la imagen, las esporas pueden diferir en simetría, forma y ornamentación, lo que refleja la enorme diversidad morfológica del grupo y resulta muy útil para su identificación y clasificación. Según el grupo taxonómico, estas estructuras reciben nombres distintos, y su morfología está estrechamente ligada al tipo de hongo que las produce. Además, a lo largo de su ciclo de vida, un hongo puede producir solo esporas asexuales, solo esporas sexuales, o ambos tipos, dependiendo de la especie y de las condiciones ambientales. En conjunto, esta variabilidad estructural y funcional explica por qué las esporas son un rasgo central tanto en la biología como en la clasificación de los hongos.

- **Diapositiva 10:**

Hifas

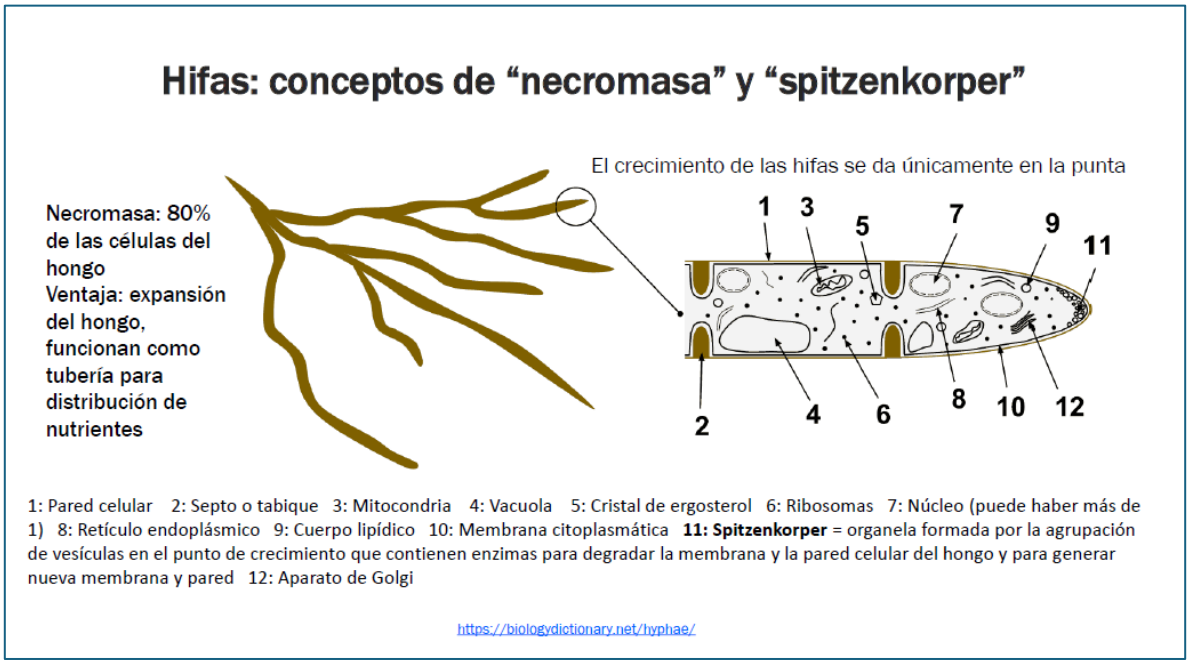
- Hifas: filamentos de células somáticas tubulares (unidad básica de crecimiento)
- Organización nuclear: uno o varios núcleos (hifas multinucleadas)
- Tipo de hifa: septadas (con septos) o cenocíticas (sin septos)
- Actividad metabólica: regiones activas y regiones inactivas (necromasa)



https://www.bio.miami.edu/dana/160/160S22_18.html

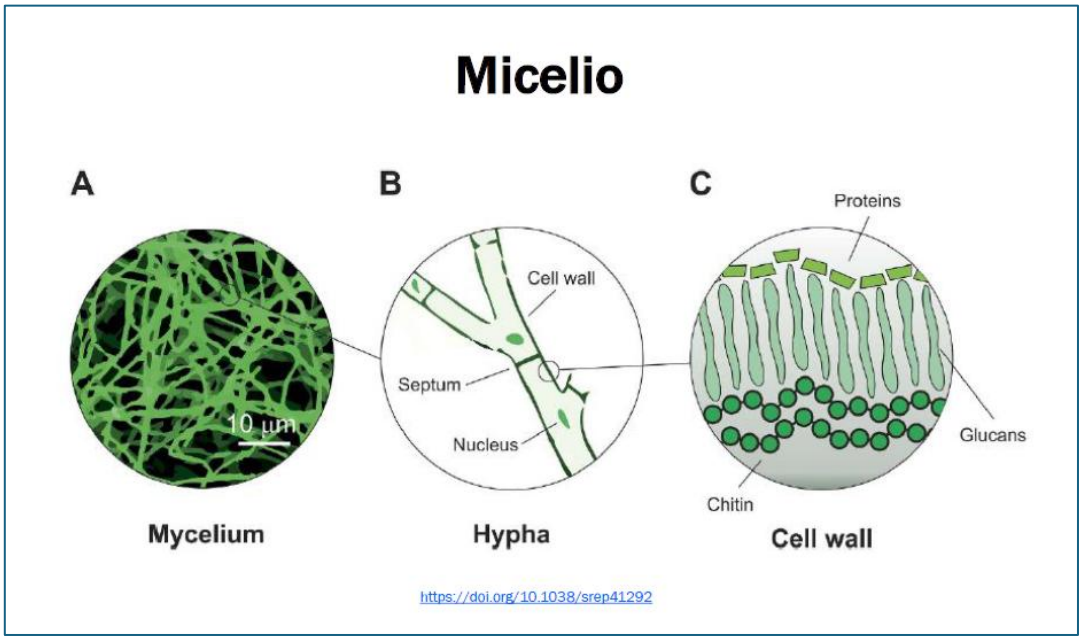
Las hifas son estructuras filamentosas formadas por células somáticas tubulares, que constituyen la unidad básica de crecimiento de los hongos. Como se observa en la imagen, estas células pueden contener uno o varios núcleos, lo que explica por qué muchas hifas son multinucleadas. En algunos hongos, las hifas presentan septos, es decir, tabiques que dividen el filamento en compartimentos celulares, mientras que en otros casos las hifas son cenocíticas, sin septos, y forman un citoplasma continuo con múltiples núcleos. Además, no todas las regiones de la hifa están metabólicamente activas: algunas células pueden quedar vacías o inactivas, formando lo que se conoce como necromasa, que es un concepto que se explicará en la siguiente diapositiva.

- **Diapositiva 11:**



En las hifas de los hongos se distinguen dos conceptos clave para comprender su crecimiento y funcionamiento: la necromasa y el Spitzenkörper. La necromasa corresponde a una gran proporción del micelio, llegando a representar cerca del ochenta por ciento de las células del hongo. Aunque estas células ya no están metabólicamente activas, cumplen una función fundamental, ya que permiten la expansión del hongo y actúan como una red de conducción interna, funcionando como una verdadera tubería para la distribución de nutrientes a lo largo de la hifa.En el extremo en crecimiento de la hifa se localiza el Spitzenkörper, una estructura altamente organizada formada por vesículas y componentes del citoesqueleto. El Spitzenkörper regula la dirección y velocidad del crecimiento apical, coordinando la deposición de nuevos materiales de la pared celular. De esta forma, mientras la necromasa sostiene y conecta el micelio, el Spitzenkörper dirige activamente el avance del hongo en su ambiente.

- **Diapositiva 12:**

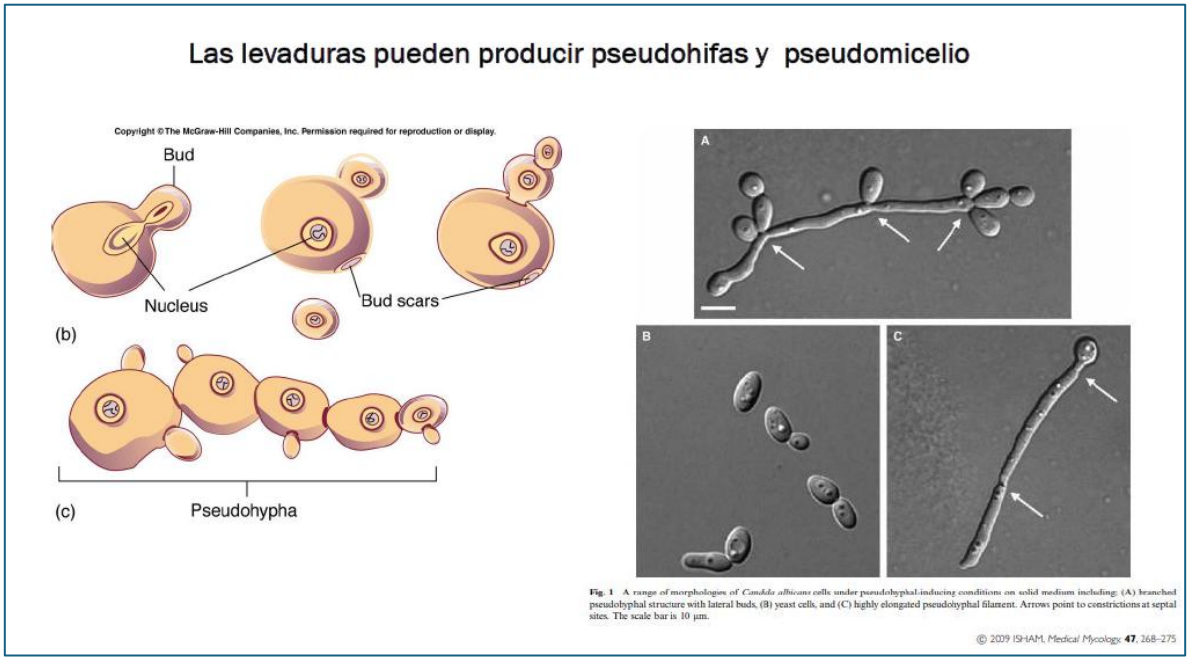


El micelio es el cuerpo vegetativo del hongo y está formado por una red de hifas que crecen y se ramifican y entrelazan sobre el sustrato, permitiendo al organismo explorar y colonizar el medio en el que se desarrolla.

- **Diapositiva 13:**

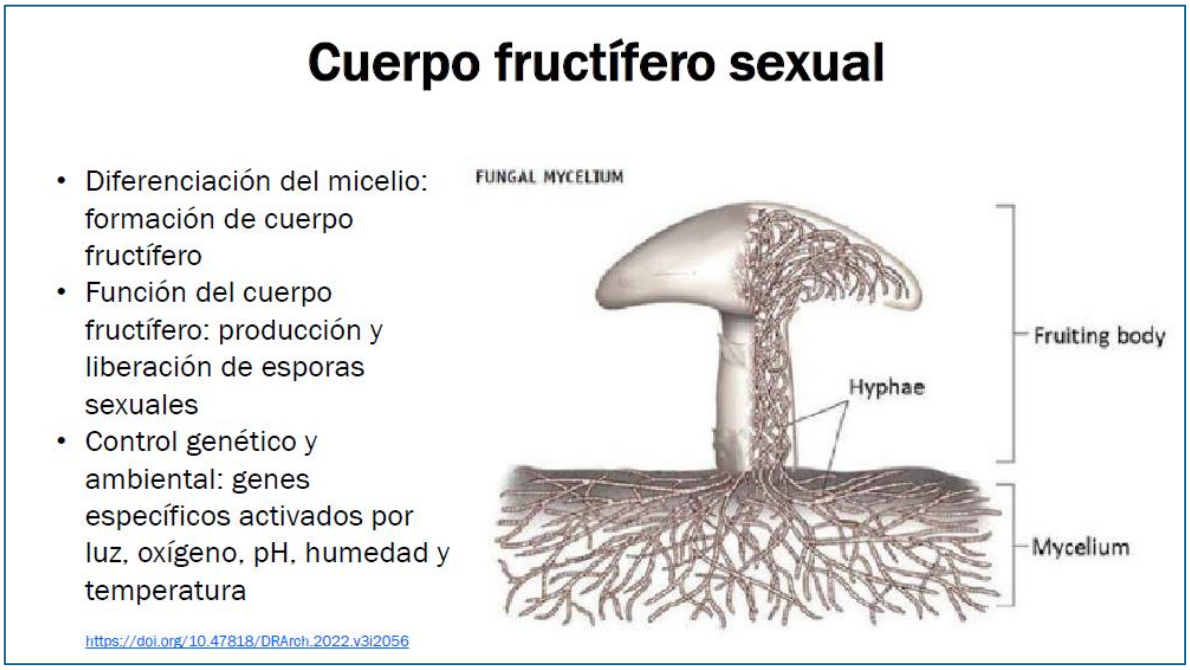
En esta diapositiva se explica la relación del aspecto del micelio con la fisiología del hongo y las condiciones en las que está creciendo. Como se observa en la imagen, el micelio de un mismo hongo puede presentar aspectos diferentes dependiendo del medio de cultivo en el que está creciendo. Esto se debe a la composición del medio influye en el grado de desarrollo del micelio, su textura, color y patrón de crecimiento. Además, dentro de una misma colonia existen diferencias espaciales claras: normalmente, en la periferia el micelio es más joven y se encuentra en activo crecimiento, mientras que hacia el centro el micelio es más antiguo, senescente y con frecuencia está asociado a la esporulación. Esto se va a retomar con más detalle en el curso de laboratorio, porque influye en la zona que se recomienda utilizar para tinciones y para cultivos.

- **Diapositiva 14:**



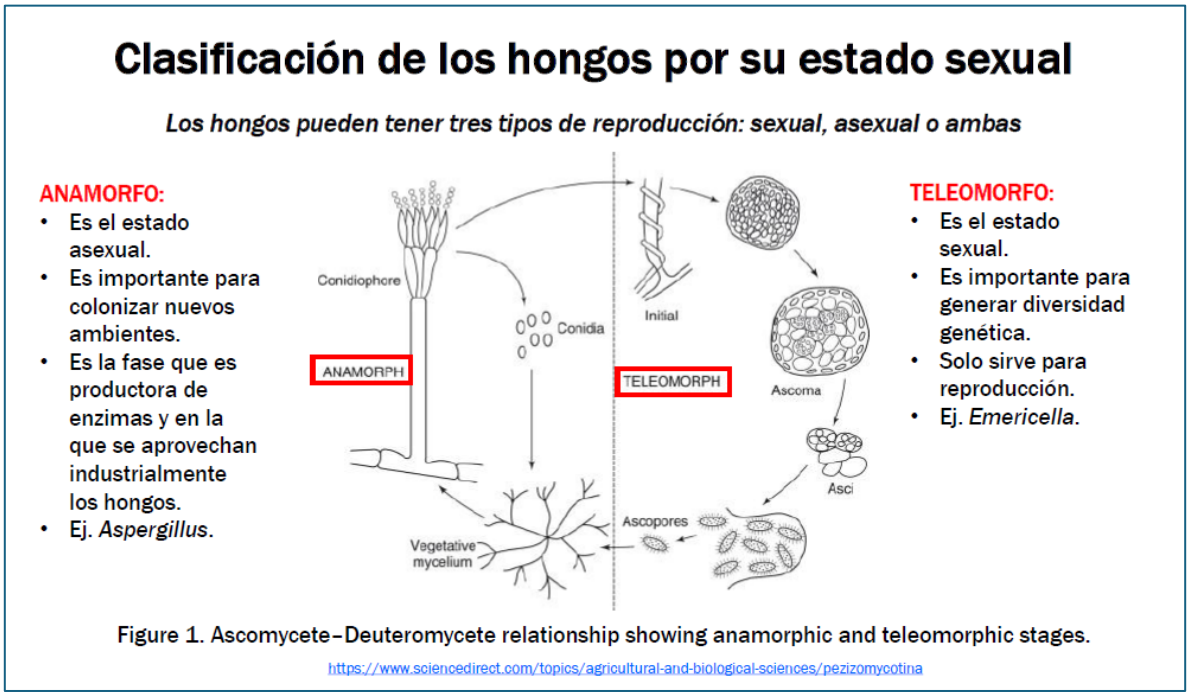
En las levaduras, las pseudohifas son cadenas de células alargadas que permanecen unidas luego de la división celular por gemación, pero sin llegar a formar verdaderas hifas. El conjunto de estas pseudohifas se denomina pseudomicelio y representa una forma de crecimiento, asociada a la adaptación del organismo a condiciones ambientales específicas. Por ejemplo, en levaduras del género *Candida*, este tipo de crecimiento es relevante en contextos clínicos, porque asociado a la invasión de tejidos y al aumento de la virulencia durante infecciones oportunistas en humanos, debido a que favorece la adhesión a superficies, la formación de biopelículas y la persistencia en el hospedero.

- **Diapositiva 15:**



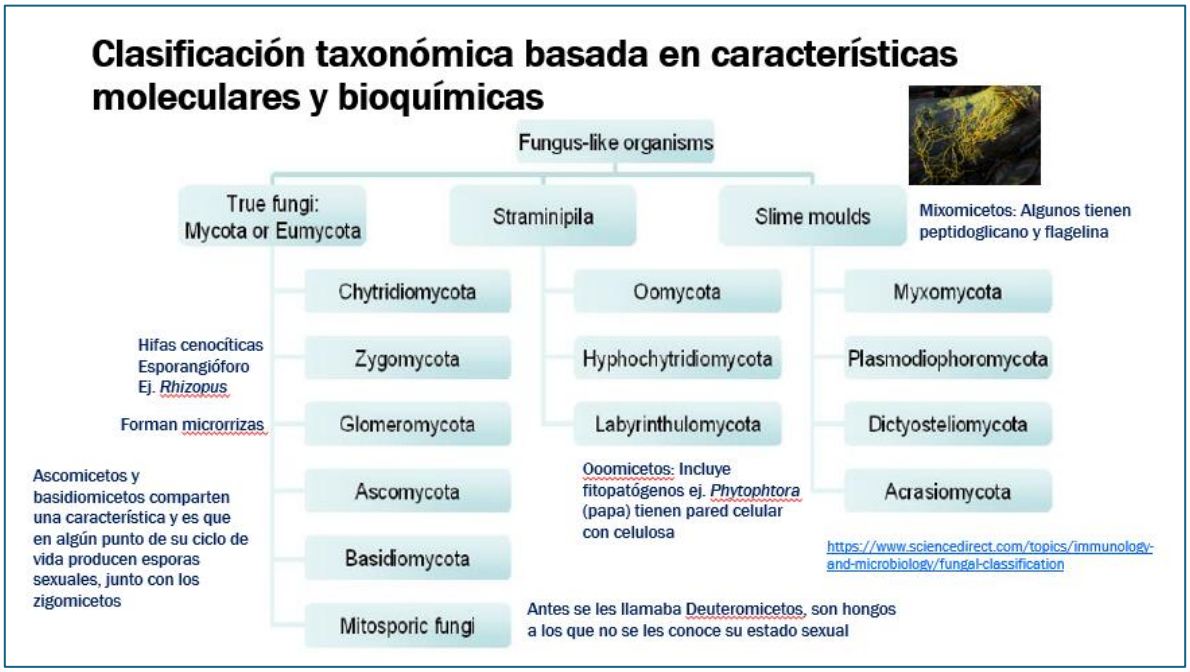
En algunos hongos, el micelio no solo crece de forma extendida en el sustrato, sino que puede agruparse, compactarse, elevarse y diferenciarse para formar un cuerpo fructífero, como el que se observa en la imagen. Este cuerpo fructífero es una estructura especializada cuya función principal es la producción y liberación de esporas sexuales, mientras que el micelio subyacente permanece encargado de la absorción de nutrientes. La capacidad de formar un cuerpo fructífero está codificada en grupos específicos de genes, y por eso no todos los hongos poseen esta característica. Además, la activación de estos genes depende de señales físicas del ambiente, como cambios en la luz —por ejemplo, la eliminación de la luz roja—, variaciones en la concentración de oxígeno, en el pH, en la humedad, o la exposición a choques térmicos, como pasar de frío a calor. En conjunto, la imagen ilustra cómo factores ambientales y regulación genética controlan la transición desde un micelio vegetativo hacia una estructura reproductiva compleja.

- **Diapositiva 16:**



Los hongos pueden reproducirse de forma sexual, asexual o de las dos maneras. Según el tipo de reproducción que estén presentando, se pueden clasificar por su estado sexual en anamorfo y teleomorfo. El estado anamorfo corresponde a la fase asexual del hongo. Esta fase es fundamental para colonizar nuevos ambientes, porque permite una producción rápida y eficiente de esporas asexuales. Además, es la etapa metabólicamente más activa, en la que se producen enzimas y compuestos de interés, por lo que es la fase que se aprovecha principalmente a nivel industrial. El ejemplo que tenemos en esta diapositiva para el estado anamorfo es el género *Aspergillus*, con el que ustedes van a trabajar en el curso de laboratorio. Por otro lado, el estado teleomorfo corresponde a la fase sexual del hongo. Su función principal es la reproducción sexual y la generación de diversidad genética, lo que favorece la adaptación y evolución de la especie. A diferencia del estado asexual, esta fase no cumple funciones metabólicas adicionales. En esta diapositiva, tenemos el ejemplo del género *Emericella*. Esta duplicidad de estados en ocasiones puede complicar la taxonomía, porque un mismo hongo puede recibir nombres distintos según si se encuentra en fase asexual o sexual. De hecho, *Aspergillus* (anamorfo) y *Emericella* (teleomorfo) corresponden al mismo hongo visto en diferentes etapas de su ciclo de vida. Esto se debe a que fueron descubiertos en diferentes momentos por diferentes personas y cada una le puso un nombre específico para lo que estaba viendo, pero genéticamente, se trata del mismo hongo.

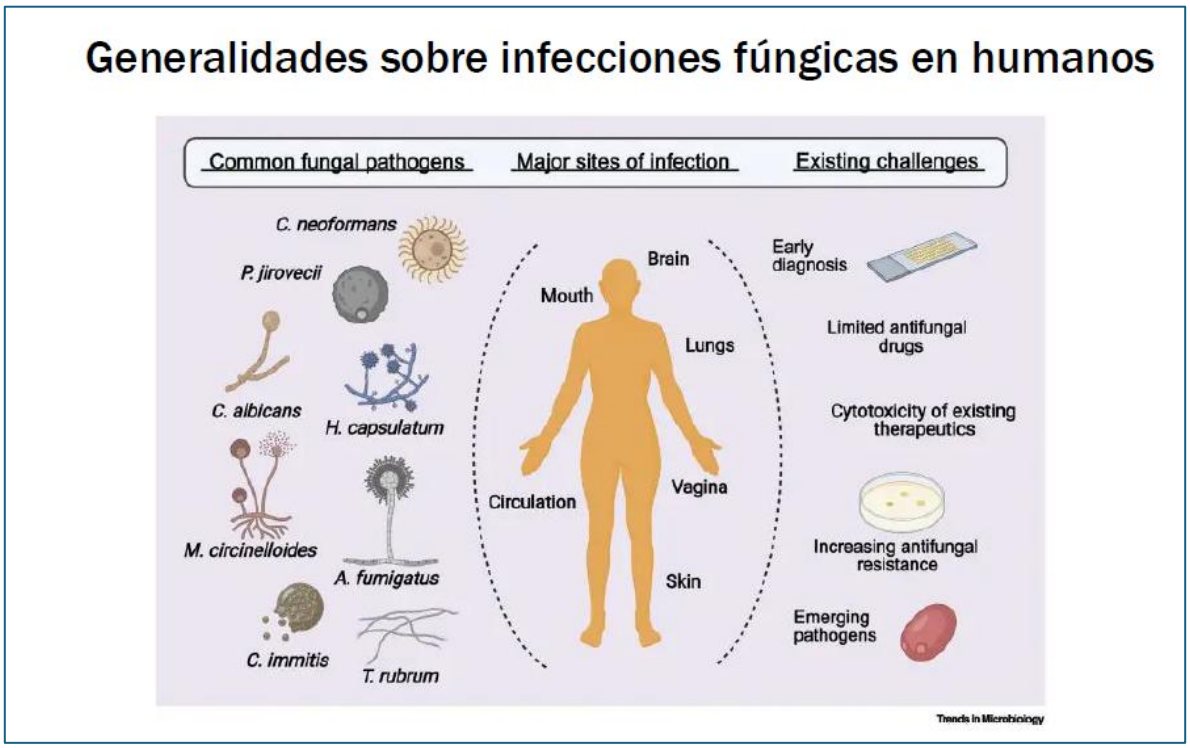
- **Diapositiva 17:**



En esta diapositiva, tenemos la clasificación taxonómica basada en características moleculares y bioquímicas. Como podemos ver, acá tenemos los hongos verdaderos que pertenecen al Reino Fungi y los organismos que en inglés se conocen como “fungi-like” o “fungus-like”, se son los que se parecen a los hongos, pero no son hongos verdaderos, porque sus paredes celulares carecen de quitina. Entonces, los hongos verdaderos se dividen en 7 filos que se llaman Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota, Basiodiomycota y hongos mitospóricos. Como dato relevante, los zigomicetos incluyen a *Rhizopus*, que es un hongo con el que ustedes van a trabajar en el curso de laboratorio. Estos hongos se caracterizan por presentar hifas cenocíticas y esponrangióforos. Por otra parte, los glomeromicetos son los que forman micorrizas, y los ascomicetos y basidiomicetos comparten una característica en común y es que en algún punto de su ciclo de vida producen esporas sexuales, junto con los zigomicetos. Por último, los hongos mitospóricos que antes se llamaban deuteromicetos agrupan a todos aquellos hongos a los que no se les conoce aún su estado de reproducción sexual, pero puede que algún día alguno de estos pase a clasificarse dentro de otro filo si se le llega a descubrir su estado sexual. En cuanto a los organismos similares a hongos, tentemos dos tipos, los estraminófilos y los “mohos deslizantes”. Entre los estraminófilos destaca el filo de los oomicetos, el cual incluye fitopatógenos como *Phytophtora* que afecta los cultivos de papa. Los estraminóilos se caracterizan por presentar una pared celular con celulosa como las plantas. Por otro lado, los “mohos deslizantes”, se caracterizan por presentar paredes

celulares con peptodoglicano como las bacterias y flagelina que es la proteína que está presente en los flagelos de las bacterias. Estos organismos tienen aspecto como baboso, y se desplazan lentamente formando una masa húmeda y brillante.

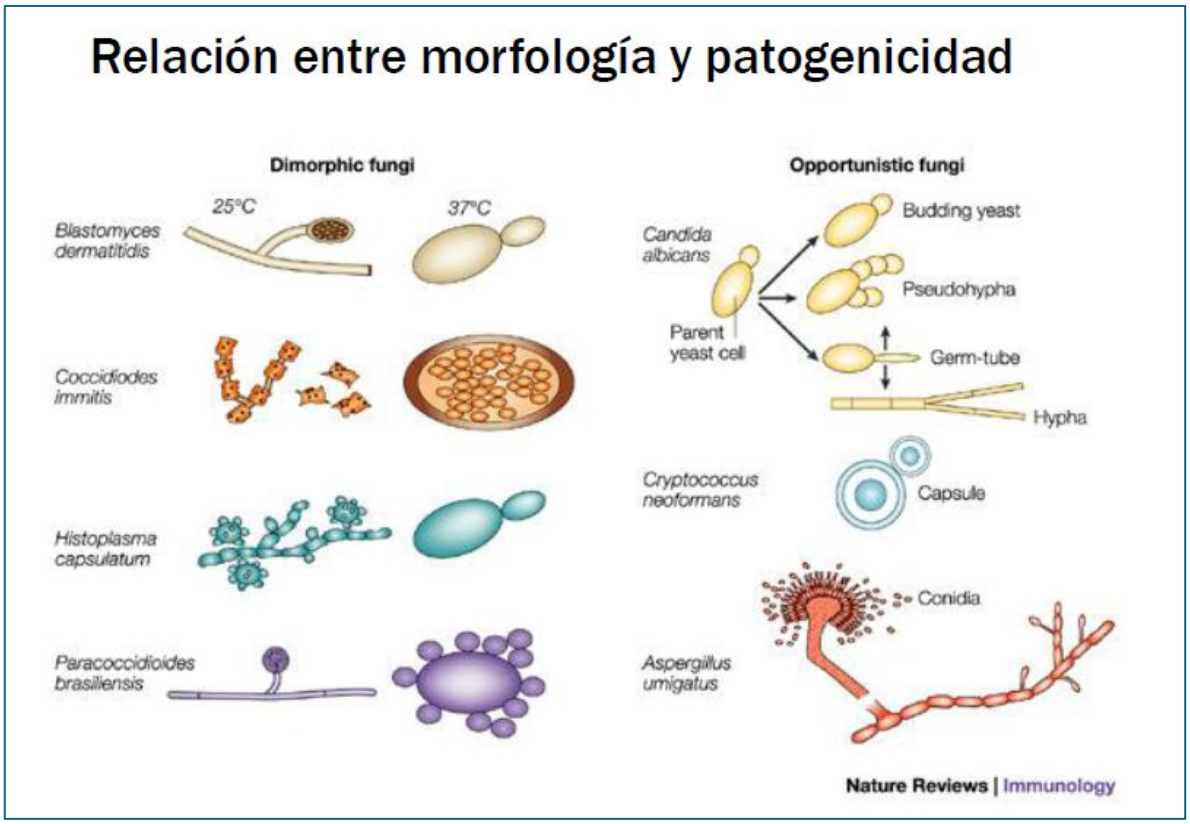
- **Diapositiva 18:**



En humanos, las infecciones fúngicas varían en prevalencia y gravedad según el sitio anatómico. En la población general, las más frecuentes son las de piel, típicamente leves y muy comunes, como las dermatofitosis por *Trichophyton rubrum*. Les siguen las infecciones de mucosas, por ejemplo, en boca y vagina, generalmente benignas pero indicativas de desequilibrios en el hospedero, en las que destaca *Candida albicans* como agente principal. Por otro lado, las infecciones pulmonares son mucho menos prevalentes y constituyen una enfermedad invasiva más grave; estos cuadros se asocian principalmente con *Aspergillus fumigatus*, *Histoplasma capsulatum*, *Coccidioides immitis* y *Pneumocystis jirovecii*, y suelen ser muy relevantes en pacientes con inmunosupresión. En un nivel aún menos frecuente, las infecciones del torrente sanguíneo reflejan diseminación sistémica y conllevan un alto riesgo de sepsis, que es una reacción grave del cuerpo frente a una infección en la que la respuesta del organismo puede dañar órganos y poner en peligro la vida; este tipo de infecciones puede involucrar patógenos oportunistas, es decir, microorganismos que normalmente no causan enfermedad pero pueden infectar cuando las defensas del hospedero están muy debilitadas, en este caso, los ejemplos más comunes son

Candida albicans y Mucor circinelloides. Finalmente, las infecciones del sistema nervioso central son raras, pero se consideran las más graves por el compromiso de un órgano crítico y la dificultad de tratamiento, siendo *Cryptococcus neoformans* un ejemplo clásico de agente causal de meningitis fúngica. En conclusión, esta diapositiva ejemplifica cuadros comunes y leves; así como otros poco frecuentes, pero potencialmente letales. Por otra parte, al lado derecho de la diapositiva, se destacan los retos actuales en el manejo clínico de estas infecciones, como la dificultad para un diagnóstico temprano, el número limitado de fármacos antifúngicos disponibles, su potencial toxicidad, el aumento de la resistencia antifúngica y la aparición de nuevos patógenos. En este contexto, la biotecnología tiene un papel muy importante en el diseño de mejores herramientas para el diagnóstico, o de nuevos fármacos y/o tratamientos que sean más seguros y efectivos.

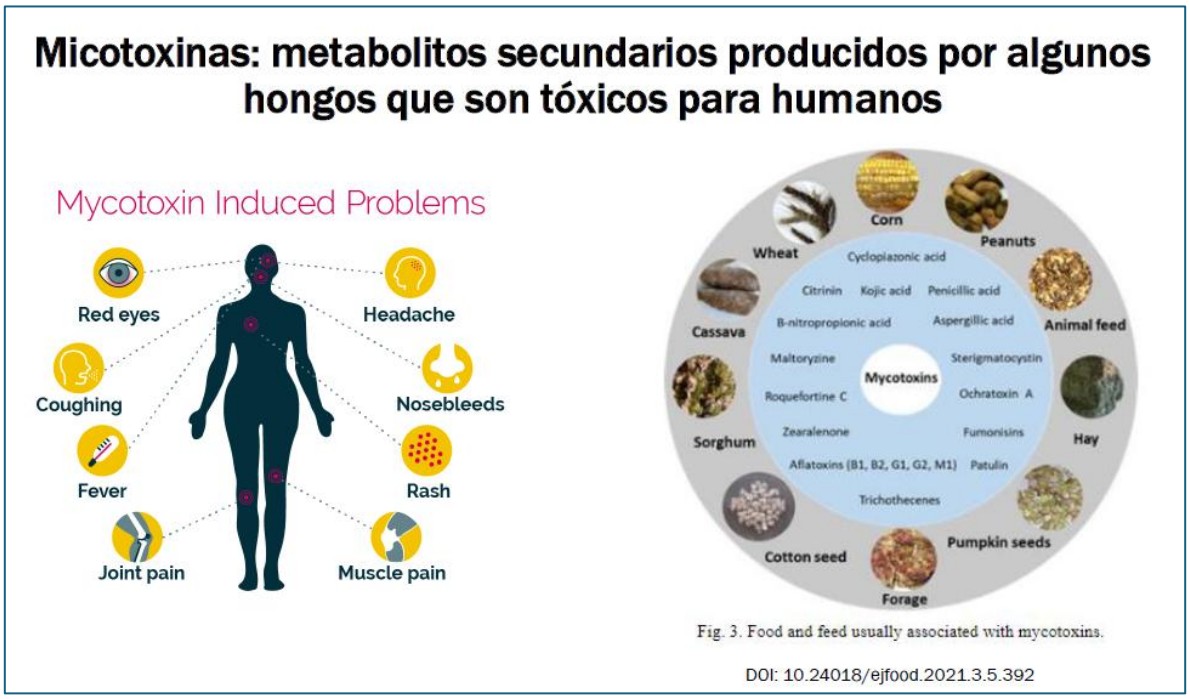
- **Diapositiva 19:**



En esta diapositiva vemos cómo distintas formas de crecimiento de los hongos se relacionan con su capacidad para causar infección. A la izquierda aparecen los hongos dimórficos —como *Histoplasma capsulatum*, *Coccidioides immitis* y *Blastomyces dermatitidis*—, que en el ambiente crecen como formas filamentosas y, al entrar al huésped a 37 °C, cambian a levadura; este cambio les ayuda a adaptarse y a evadir

mejor la respuesta inmune. A la derecha están ejemplos de patógenos oportunistas como *Candida albicans* que puede alternar entre levadura, pseudohifas e hifas, lo que favorece la diseminación y la invasión de tejidos. *Cryptococcus neoformans* destaca por su cápsula, que dificulta la fagocitosis. Y *Aspergillus fumigatus* produce conidios muy pequeños que se dispersan por el aire y alcanzan fácilmente los pulmones por vía respiratoria. En resumen, la morfología fúngica no es un simple rasgo estructural: determina cómo el hongo se dispersa, invade tejidos y se relaciona con su hospedero; y, desde la biotecnología, es necesario comprender estas transiciones para guiar el desarrollo de nuevos antifúngicos, diagnósticos rápidos y estrategias de prevención más efectivas.

- **Diapositiva 20:**



Para cerrar el tema de la patogenicidad de los hongos, algunos de ellos pueden producir micotoxinas, que son metabolitos secundarios tóxicos para los humanos. La exposición a estas micotoxinas puede causar desde ojos rojos, tos, dolor de cabeza, fiebre, sangrado nasal, dolores musculares y articulares, así como sarpullidos. Algunos ejemplos de alimentos asociados con micotoxinas son cereales como el maíz y el trigo, granos y cultivos como el sorgo y la yuca, semillas oleaginosas como el maní, la semilla de algodón y las semillas de calabaza, así como forrajes, heno y alimentos para animales, que pueden contaminarse durante el cultivo, la cosecha o el almacenamiento. En el centro de la imagen se pueden ver también los nombres específicos de las micotoxinas asociadas con estos alimentos. Esto se relaciona con

la biotecnología desde la seguridad alimentaria en el ámbito industrial y regulatorio, porque permite fijar límites máximos de micotoxinas para consumo local y exportación, fortalecer el control de calidad y avanzar en métodos de detección rápida que garanticen la inocuidad de los alimentos.

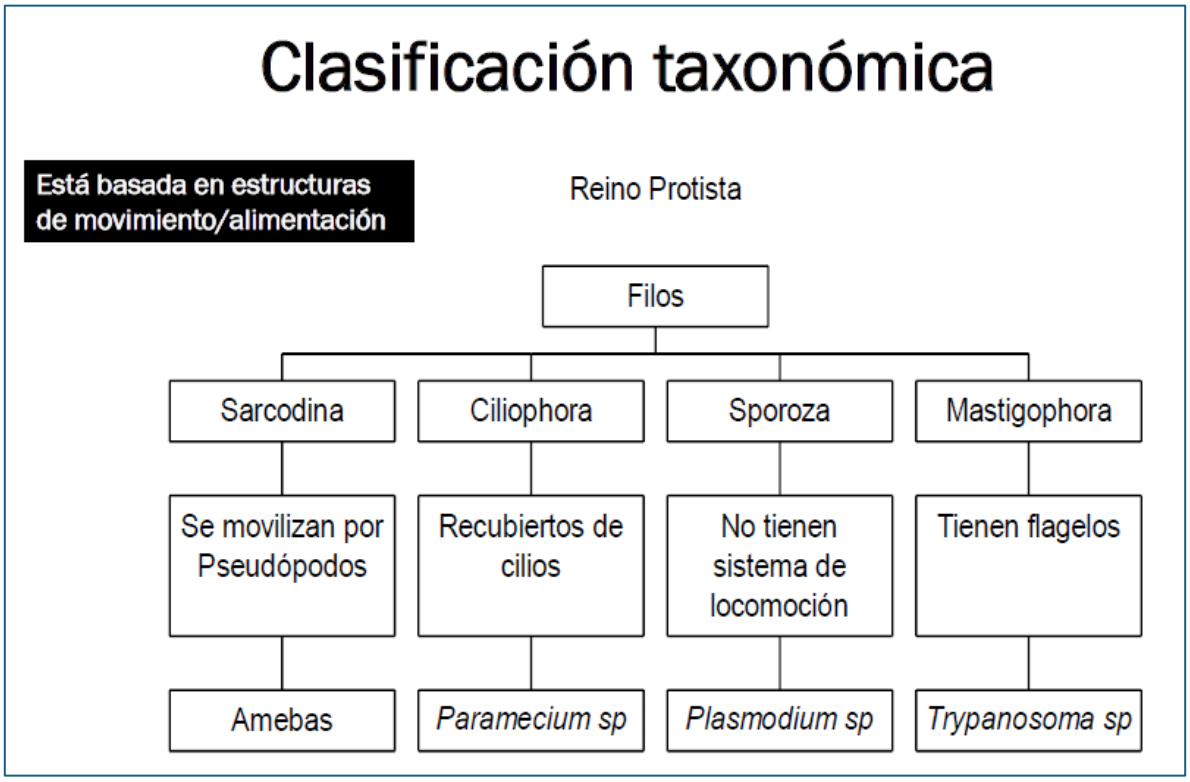
- **Diapositiva 21:**

A continuación, vamos a ver el tema de protozoos, para lo cual vamos a seguir una presentación que yo modifiqué y actualicé a partir de una charla fue impartida por la M.Sc. Stefany Lozada de la UCR en 2020.

- **Diapositiva 22:**

En cuanto a las generalidades de los protozoos, el término “protozoo” proviene del griego y está formado por dos palabras: “proto”, que significa primero, y “zoo”, que significa animal. Este nombre se usó históricamente porque los protozoos fueron considerados los animales más simples o primitivos, ya que son organismos con algunos comportamientos similares a los de los animales y, aunque hoy sabemos que no son animales en sentido estricto, el término se mantiene por razones históricas y didácticas. Estos organismos tienen forma, estructura, movimiento, nutrición y tamaño variados, como veremos más adelante. En su ciclo de vida, pueden tener formas vegetativas llamadas trofozoítos, formas de resistencia llamadas quistes y formas de reproducción como las esporas y los ooquistes. En relación con esto, los protozoos pueden tener diferentes tipos de reproducción que veremos más adelante. Por otro lado, los protozoos son unicelulares, es decir que están formados por una sola célula que realiza todas las funciones vitales. En muchos casos, esa célula vive de manera individual, desplazándose y alimentándose por sí misma. Sin embargo, en otros casos, varias células unicelulares pueden agruparse formando nidos o agregados, por ejemplo, dentro de tejidos de su hospedero, pero sin llegar a constituir un organismo multicelular verdadero. Esta forma de organización puede facilitar su supervivencia, protección o establecimiento de la infección. Por último, los protozoos pueden presentar distintos estilos de vida. Algunos son de vida libre, lo que significa que viven de forma independiente en el ambiente, por ejemplo, en agua o suelo, sin necesitar un hospedero. Otros son parásitos, es decir, viven dentro o sobre otro organismo y dependen de él para obtener nutrientes, causando enfermedad en muchos casos. Además, existen protozoos llamados anfizoicos, que son los que combinan ambos estilos: normalmente viven de forma libre en el ambiente, pero bajo ciertas condiciones pueden transformarse en parásitos y establecer una infección en un hospedero. Esta flexibilidad explica por qué algunos protozoos pueden pasar del ambiente al organismo humano.

- **Diapositiva 23:**



Esta diapositiva muestra una clasificación clásica de los protozoos dentro del reino Protista, basada principalmente en las estructuras que utilizan para moverse y alimentarse. Por ejemplo, los Sarcodina, como las amebas, se desplazan y capturan alimento mediante pseudópodos, extensiones temporales de la célula. Los Ciliophora, como *Paramecium*, están recubiertos de cilios, que les permiten moverse activamente y dirigir partículas de alimento hacia la célula. En el caso de los Mastigophora, como *Trypanosoma*, el movimiento depende de uno o más flagelos, estructuras largas que facilitan la locomoción en medios líquidos. Finalmente, los Sporozoa, como *Plasmodium*, se caracterizan por no presentar estructuras de locomoción, ya que dependen del hospedero y de su ciclo de vida parasitario para desplazarse. En conjunto, la imagen resume cómo las diferencias en movimiento y alimentación han sido históricamente utilizadas para organizar y comprender la diversidad de los protozoos.

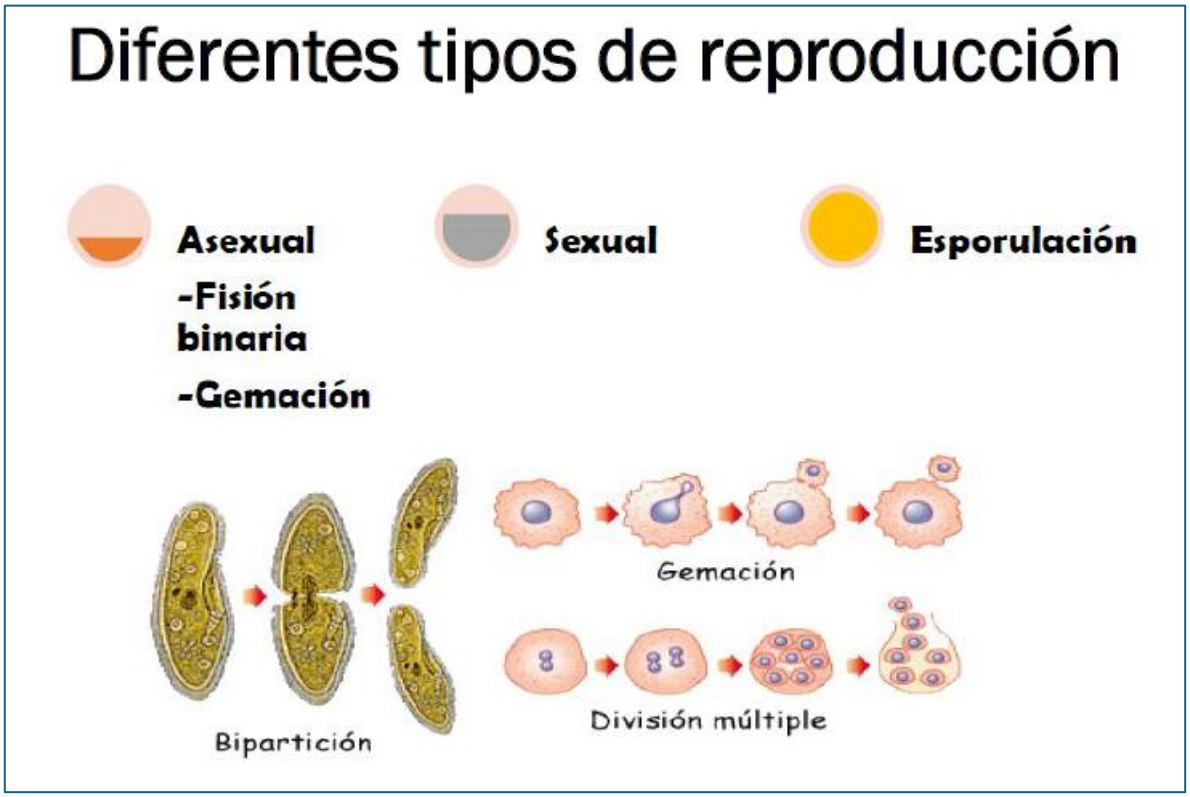
- **Diapositiva 24:**

Esta diapositiva muestra las tres estructuras celulares clave que utilizan los protozoos para moverse y alimentarse: cilios, pseudópodos y flagelos. A la izquierda se observan los cilios, que son numerosos y cortos; su movimiento coordinado no solo permite el desplazamiento, sino que también dirige las partículas de alimento hacia el citoplasma, donde son incorporadas por fagocitosis, como ocurre en *Paramecium*. En el centro se ilustran los pseudópodos, extensiones temporales de la célula que permiten un movimiento más libre, similar al de los macrófagos, y que rodean y endocitan el alimento, como se ve en las amebas. A la derecha aparecen los flagelos, que son estructuras más largas y pueden presentarse de forma única o múltiple; un ejemplo es *Giardia*, que posee ocho flagelos, los cuales le permiten desplazarse activamente en medios líquidos. En conjunto, la imagen destaca cómo estas estructuras están directamente relacionadas tanto con la locomoción como con la forma en que estos microorganismos capturan su alimento.

- **Diapositiva 25:**

Esta diapositiva muestra tres formas que pueden presentar algunos protozoos a lo largo de su ciclo de vida: el trofozoíto, el quiste y el ooquiste. El trofozoíto corresponde a la forma vegetativa, es decir, la forma activa del organismo, responsable del movimiento, la alimentación y la multiplicación dentro del hospedero. En cambio, el quiste es una forma de resistencia, caracterizada por una pared protectora que le permite resistir cloro, desinfectantes, cambios de temperatura y de pH, así como la desecación, lo que facilita su supervivencia en el ambiente. Finalmente, el ooquiste es una estructura que se forma como resultado de la reproducción sexual, ya que se genera a partir del entrecruzamiento de material genético, dando lugar a nuevas combinaciones genéticas. En conjunto, la imagen ilustra cómo un mismo protozoo puede alternar entre una forma vegetativa activa, una forma resistente y una forma asociada a la reproducción sexual, lo que es clave para su supervivencia y transmisión.

- **Diapositiva 26:**



Esta diapositiva resume las principales formas de reproducción en los protozoos. En la parte izquierda se muestra la reproducción asexual, que ocurre por fisión binaria, también llamada bipartición, donde una célula se divide en dos células hijas iguales, o por gemación, en la que una nueva célula se forma como una yema que crece a partir de la célula original. En el centro se ilustran procesos asociados a la reproducción sexual, donde hay intercambio de material genético entre células, lo que aumenta la variabilidad genética. Finalmente, a la derecha se representa la esporulación, un proceso en el que se forman múltiples células hijas a partir de una sola célula madre, generalmente como respuesta a condiciones ambientales desfavorables. En conjunto, la imagen muestra cómo los protozoos combinan estrategias simples y eficientes para multiplicarse, adaptarse y sobrevivir en distintos ambientes.

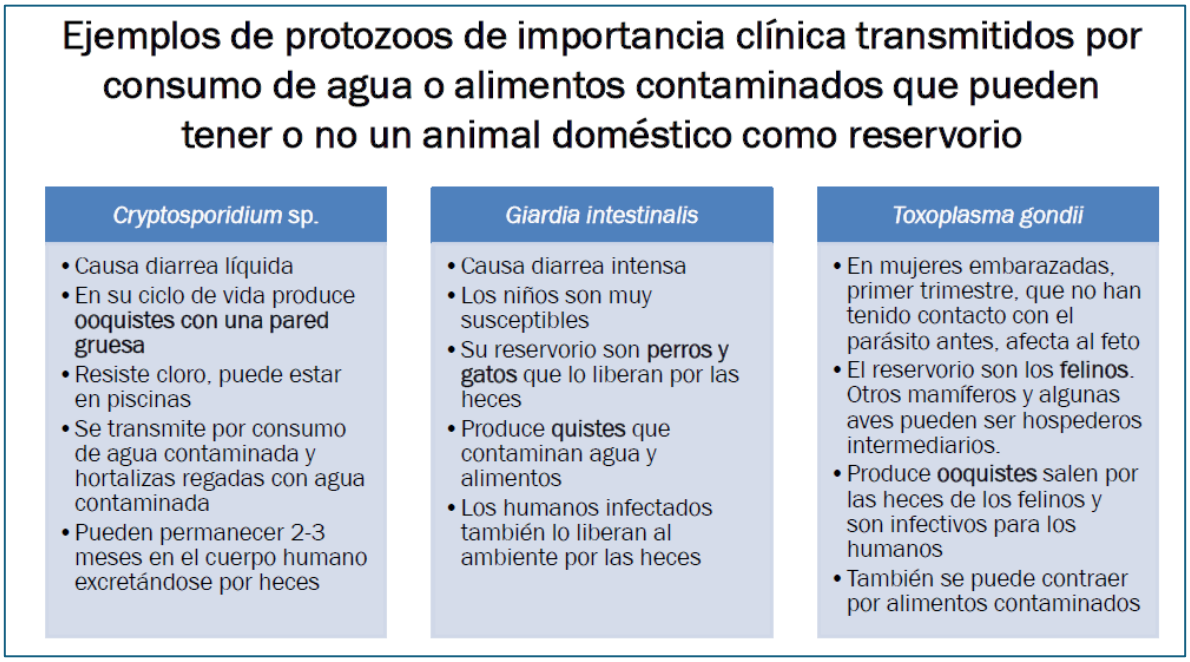
- **Diapositiva 27:**

Esta diapositiva muestra dos tipos de vectores involucrados en la transmisión de protozoos: los mecánicos y los biológicos. En la parte superior se observan vectores mecánicos, como moscas y cucarachas, que solo transportan o transmiten al protozoo de forma pasiva; es decir, el protozoo no se multiplica dentro de ellos, sino que es llevado de un lugar a otro, por ejemplo desde superficies contaminadas hasta alimentos. En la parte inferior se ilustran los vectores biológicos, como mosquitos, garrapatas o chinches, que sí forman parte del ciclo de vida del protozoo. En estos casos, el protozoo necesita al vector para multiplicarse o transformarse y volverse infectivo antes de poder transmitirse a un nuevo hospedero. En conjunto, la imagen destaca que no todos los vectores cumplen el mismo papel: algunos solo facilitan el transporte, mientras que otros son esenciales para la supervivencia y transmisión del protozoo.

- **Diapositiva 28:**

La enfermedad de Chagas es causada por el protozoo *Trypanosoma cruzi* y se transmite por la chinche triatomina, que habita en zonas rurales y periurbanas. En la fase aguda, puede aparecer el chagoma, una lesión inflamatoria en el sitio de entrada del parásito, junto con fiebre y síntomas digestivos y malestar general; en la fase crónica, que puede manifestarse años después, se producen principalmente daños en el corazón, hígado e intestinos. El papalomoyo, o leishmaniasis, es causado por protozoos del género *Leishmania* y transmitido por flebótomos, que son pequeños insectos voladores similares a mosquitos, que viven en ambientes cálidos y húmedos. La leishmaniasis puede presentarse como cutánea, con lesiones en la piel, o como leishmaniasis visceral, que afecta órganos internos como hígado y bazo. Por su parte, la malaria es causada por protozoos del género *Plasmodium* y transmitida por el mosquito *Anopheles*, que se reproduce en ambientes selváticos. En la fase aguda, predominan síntomas como fiebre intermitente, escalofríos, sudoración, dolor de cabeza, muscular y abdominal, fatiga náuseas y vómito; mientras que, en la fase crónica, que puede presentarse tras infecciones repetidas o no tratadas adecuadamente, puede observarse anemia persistente, debilidad, pérdida de peso y agrandamiento del bazo y del hígado. En conjunto, estos ejemplos muestran la diversidad de ciclos de vida y efectos de los protozoos transmitidos por vectores biológicos en la salud humana. Desde la biotecnología, comprender estos ciclos y formas de infección es clave para el desarrollo de nuevos fármacos, métodos de diagnóstico y estrategias de control de vectores.

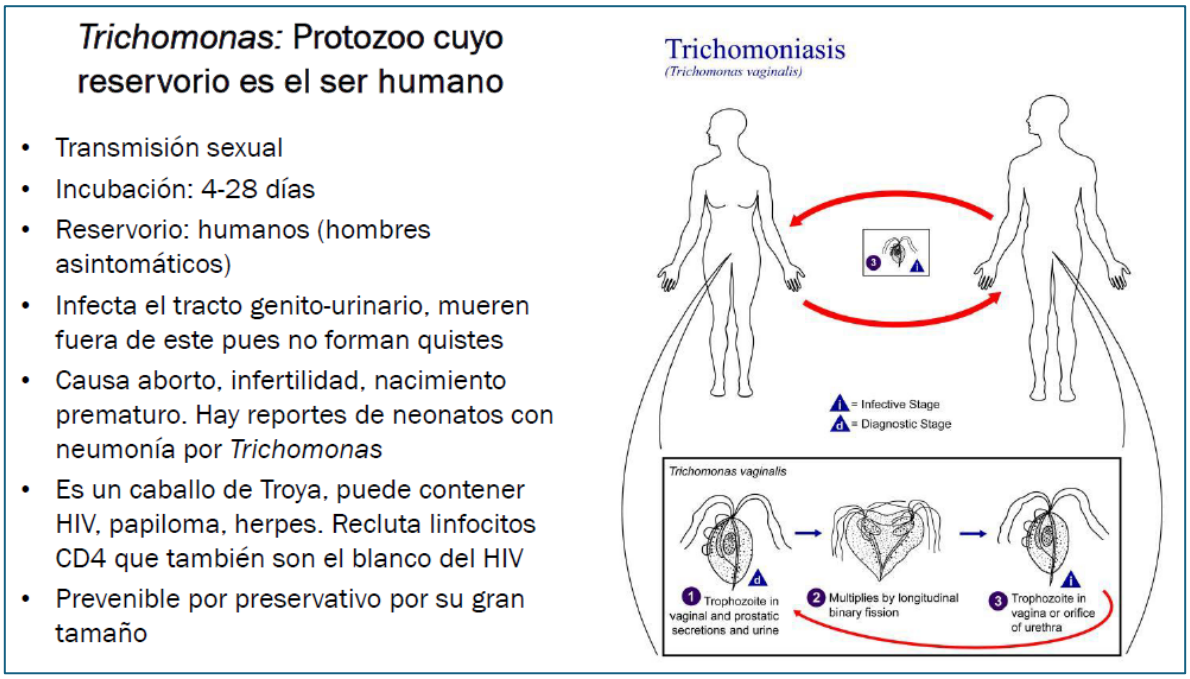
- **Diapositiva 29:**



Esta diapositiva muestra ejemplos de protozoos de importancia clínica transmitidos por consumo de agua o alimentos contaminados que pueden tener o no un animal doméstico como reservorio. En primer lugar, *Cryptosporidium* sp. causa diarrea líquida, que puede ser persistente, especialmente en niños o personas inmunocomprometidas. En su ciclo de vida produce ooquistes con una pared gruesa, lo que les permite resistir el cloro y otros desinfectantes, razón por la cual pueden encontrarse incluso en piscinas. La transmisión ocurre principalmente por el consumo de agua contaminada o de hortalizas regadas con agua contaminada. Una vez en el organismo, los ooquistes pueden permanecer entre dos y tres meses, durante los cuales el protozoo continúa excretándose por las heces, facilitando su diseminación. Por otro lado, *Giardia intestinalis* es un protozoo que causa diarrea intensa. Los niños particularmente sensibles. Su principal reservorio incluye perros y gatos, que eliminan el microorganismo al ambiente a través de las heces. Durante su ciclo de vida, *Giardia* produce quistes, los cuales pueden contaminar el agua y los alimentos, facilitando la transmisión al ser humano. Además, las personas infectadas también liberan quistes por las heces, lo que contribuye a la contaminación ambiental y a la propagación de la enfermedad. Por último, *Toxoplasma gondii* es un protozoo de gran relevancia en salud pública, especialmente en mujeres embarazadas. Cuando la infección ocurre por primera vez durante el primer trimestre del embarazo, y la mujer no ha tenido contacto previo con el parásito, existe riesgo de afectación del feto. El principal reservorio de *Toxoplasma* son los felinos, en cuyo intestino el parásito completa su ciclo sexual;

otros mamíferos y algunas aves pueden actuar como hospederos intermediarios. Los felinos eliminan ooquistes en sus heces, los cuales son infectivos para los humanos y pueden contaminar el ambiente. La infección también puede adquirirse por el consumo de alimentos contaminados, lo que explica la amplia distribución de este protozoo en la población.

- **Diapositiva 30:**



Trichomonas vaginalis es un protozoo que se transmite por contacto sexual y tiene un período de incubación que varía entre 4 y 28 días. Su único reservorio es el ser humano, y es frecuente que los hombres sean portadores asintomáticos, lo que facilita su transmisión. Este protozoo infecta el tracto genitourinario y no sobrevive fuera de este ambiente, ya que no forma quistes, por lo que muere rápidamente en el exterior. La infección se asocia con abortos, infertilidad y partos prematuros, y existen reportes poco frecuentes de neonatos con neumonía por *Trichomonas*. Además, se le considera un “caballo de Troya”, ya que puede transportar virus como HIV, papiloma humano y herpes, y favorecer la infección por HIV al reclutar linfocitos CD4, que son justamente las células blanco de este virus. A pesar de su impacto, la infección es altamente prevenible mediante el uso de preservativo, debido al gran tamaño del protozoo, que dificulta su paso a través de este método anticonceptivo de barrera.

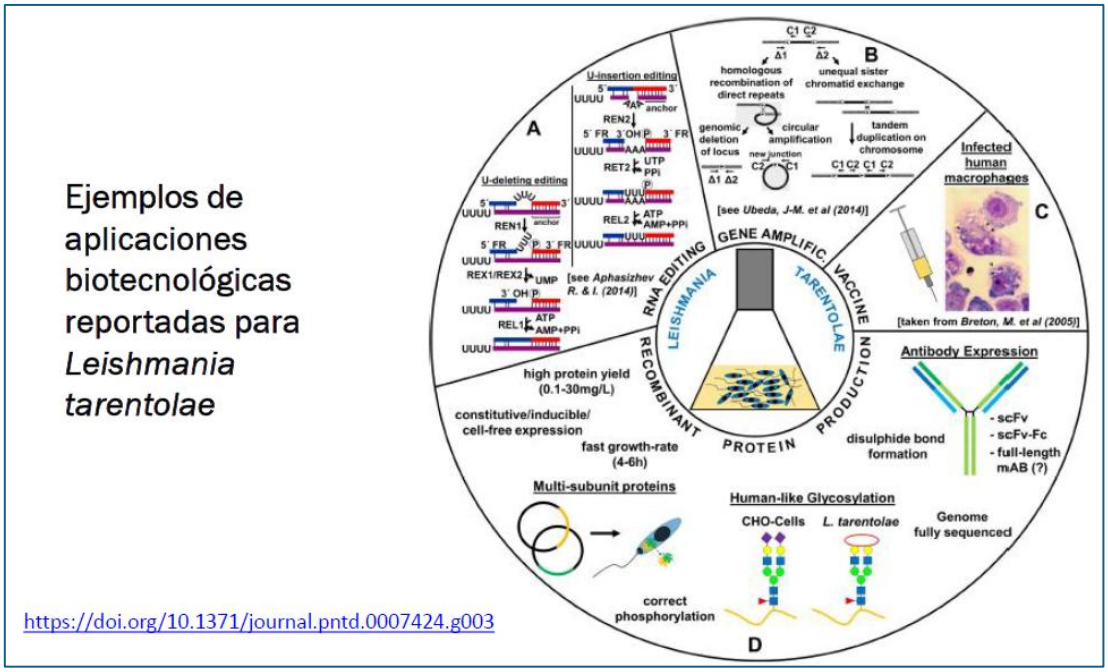
- **Diapositiva 31:**

En esta diapositiva tenemos dos ejemplos de protozoos anfizoicos, que son los que normalmente son de vida libre, pero también pueden comportarse como parásitos si se da un contacto con ellos. Por un lado, tenemos el caso de *Acanthamoeba* spp., que es un género de amebas de vida libre que pueden encontrarse en cuerpos de agua dulce y salada, en piscinas y en sistemas artificiales como aires acondicionados. Una de sus características más importantes es su capacidad para formar biopelículas, lo que les confiere una alta resistencia ambiental. En humanos pueden causar úlceras en la córnea, especialmente asociadas al uso inadecuado de lentes de contacto, así como infecciones cutáneas y nasofaríngeas y, en casos poco frecuentes pero graves, encefalitis granulomatosa amebiana. El segundo ejemplo que tenemos en esta diapositiva es *Naegleria fowleri* que también vive en aguas y suelos, pero se diferencia por su elevada agresividad. Este protozoo ingresa al cuerpo humano por inhalación de agua contaminada, penetra la placa divoides que es una estructura ubicada en la cavidad nasal que es más porosa en personas jóvenes, y desde ahí logra accesar rápidamente al cerebro a través de los nervios olfatorios. La infección progresa de forma muy rápida y puede ser letal en aproximadamente 24 horas si no se recibe tratamiento. En Costa Rica, se reportaron algunos casos en el año 2020, lo que subraya la importancia de estas amebas como patógenos anfizoicos.

- **Diapositiva 32:**

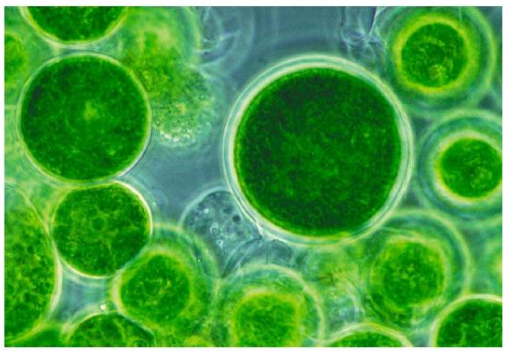
Los protozoos patógenos estudiados hasta acá son relevantes para la biotecnología porque su conocimiento permite desarrollar diagnósticos más precisos, nuevos fármacos y estrategias de control y prevención, especialmente considerando sus ciclos de vida complejos y su alta resistencia en el ambiente. Sin embargo, también existen otros protozoos no patógenos que se han estudiado por sus aplicaciones biotecnológicas. Por ejemplo, *Leishmania tarentolae* que se utiliza en biotecnología como vector de expresión como veremos en la siguiente diapositiva.

- **Diapositiva 33:**



Como podemos ver en esta diapositiva, *Leishmania tarentolae* se utiliza para estudiar la edición de ARN , la amplificación génica, el desarrollo de vacunas contra especies de *Leishmania* patógenas para humanos y la producción de proteínas proteínas recombinantes eucariotas con adecuado plegamiento y modificaciones postraduccionales. Como cierre de este tema, el estudio los protozoos, tanto los patógenos como los no patógenos, es muy importante para la biotecnología, porque estos organismos tienen una gran diversidad biológica y sus ciclos de vida complejos, lo que los convierten en modelo para el desarrollo de diagnósticos, fármacos, vacunas y sistemas de expresión de alto valor.

- **Diapositiva 34:**



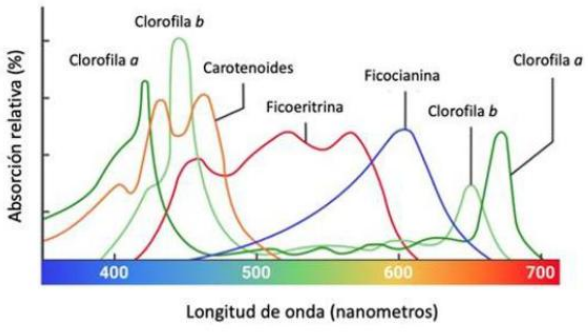
MICROALGAS EUCARIOTAS

Por último, pero no menos importante, vamos a continuar con el tema de las microalgas eucariotas.

- **Diapositiva 35:**

MICROALGAS

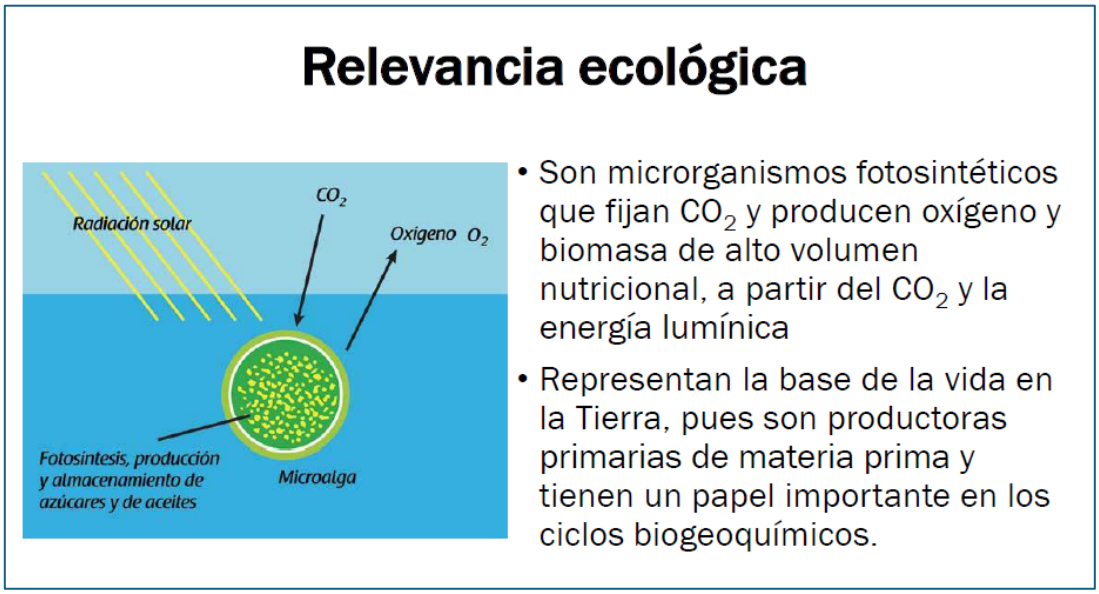
- Unicelulares
- Autótrofas
- Habitan en sistemas acuosos
- Producen pigmentos para captar la energía lumínica
- Producen lípidos de reserva y anticongelantes como mecanismos de supervivencia



Portillo, F., & Jiménez, A. M. (2021). Pigmentos en microalgas: funciones, aplicaciones y técnicas de sobreproducción. Biotecnol. Soc. Mex. Biotecnol. y Bioingeniería, 25, 35-51.

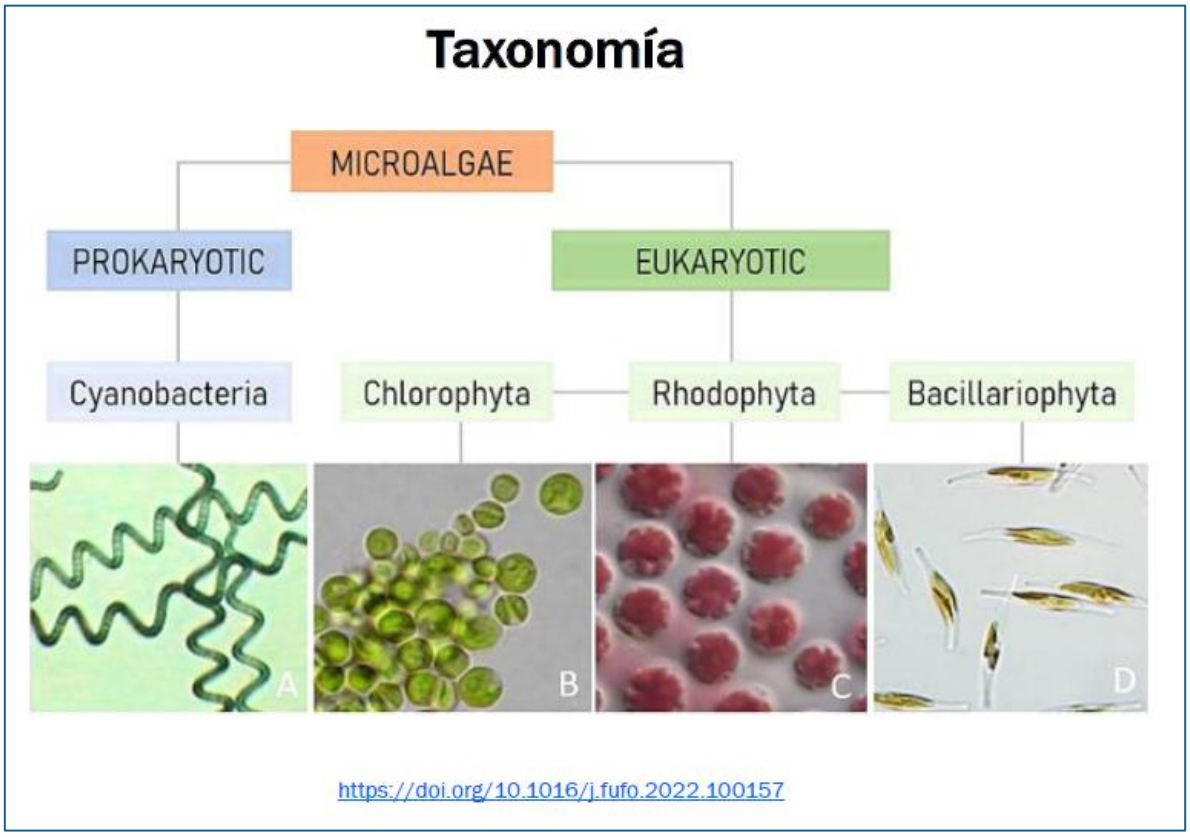
Las microalgas eucariotas son organismos unicelulares y autótrofos que habitan principalmente en sistemas acuáticos, tanto marinos como de agua dulce. Para realizar la fotosíntesis, producen una amplia variedad de pigmentos que les permiten captar la energía lumínica incluso en condiciones de baja luz. Además, como parte de sus mecanismos de supervivencia, pueden acumular lípidos de reserva y sintetizar compuestos anticongelantes, lo que les permite adaptarse a ambientes con limitaciones nutricionales o condiciones extremas de temperatura.

- **Diapositiva 36:**



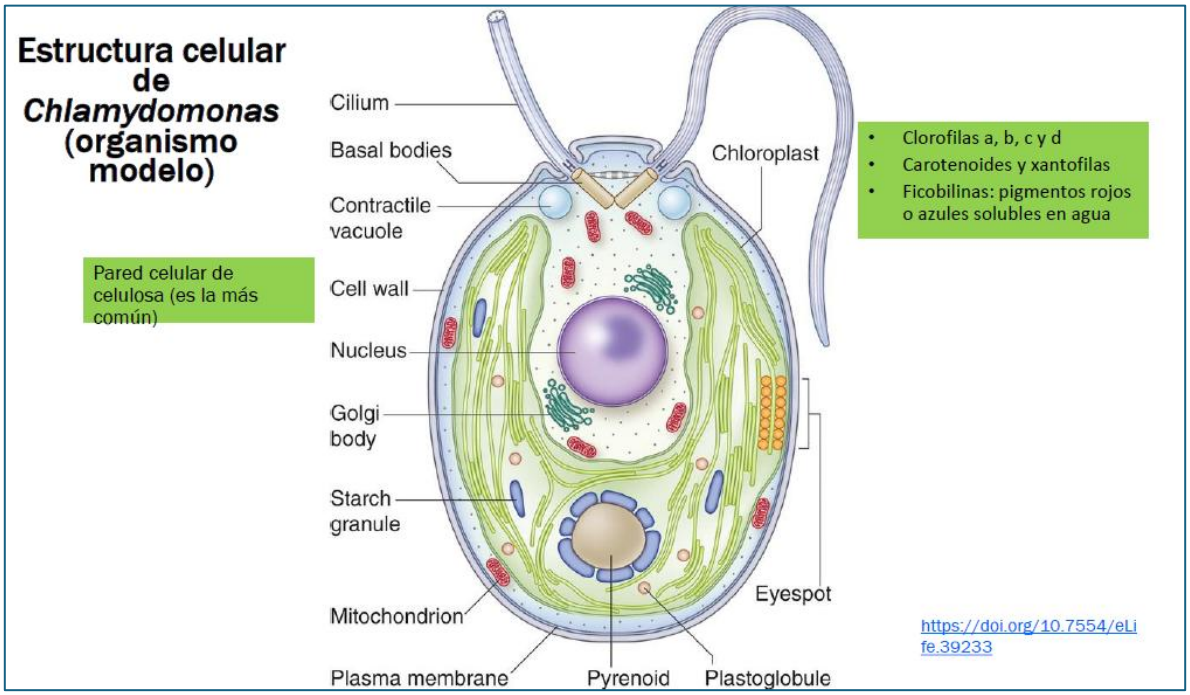
Las microalgas tienen gran relevancia ecológica porque son microrganismos fotosintéticos que fijan CO_2 y producen oxígeno y biomasa de alto volumen nutricional, a partir del CO_2 y la energía lumínica. Además, representan la base de la vida en la Tierra, pues son productoras primarias de materia prima y tienen un papel importante en los ciclos biogeoquímicos.

- **Diapositiva 37:**



Esta diapositiva muestra una clasificación muy general de las microalgas basada en su tipo celular. Por un lado, se distinguen las microalgas procarióticas, representadas por las cianobacterias. Por otro lado, tenemos las microalgas eucariotas, que sí poseen núcleo y organelos, y que se agrupan en distintos filos como Chlorophyta, que corresponden a las algas verdes; Rhodophyta, o algas rojas; y Bacillariophyta, conocidas como diatomeas. Las imágenes inferiores ilustran ejemplos representativos de cada grupo, destacando su diversidad morfológica. En conjunto, la figura resume cómo el término “microalgas” incluye organismos fotosintéticos muy diversos, tanto procarióticos como eucariotas, con distintas características celulares y biológicas.

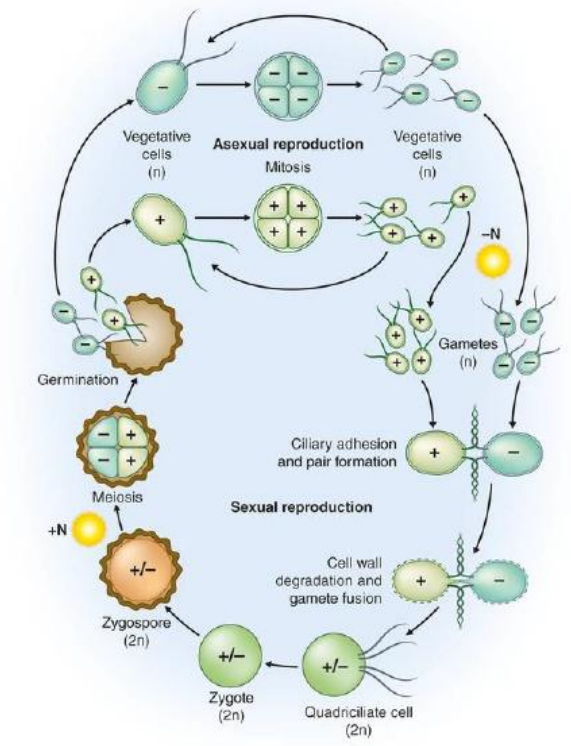
- **Diapositiva 38:**



Chlamydomonas es una microalga eucariota unicelular que se utiliza como organismo modelo. Tiene una pared celular principalmente de celulosa, una membrana plasmática y un cloroplasto muy grande en forma de copa, donde ocurre la fotosíntesis. Dentro del cloroplasto, está el estigma u “ojo” que le permite percibir la luz, gracias a pigmentos como clorofilas, carotenoides, xantofilas y ficobilinas que son pigmentos rojos o azules solubles en agua. Dentro del cloroplasto también está el pirenoide, que es una estructura asociada a la fijación de carbono y al almacenamiento de almidón. Para movilizarse en el agua, cuenta con dos flagelos anclados a cuerpos basales. Además, tiene vacuolas contráctiles que participan en el metabolismo y en la regulación osmótica.

- **Diapositiva 39:**

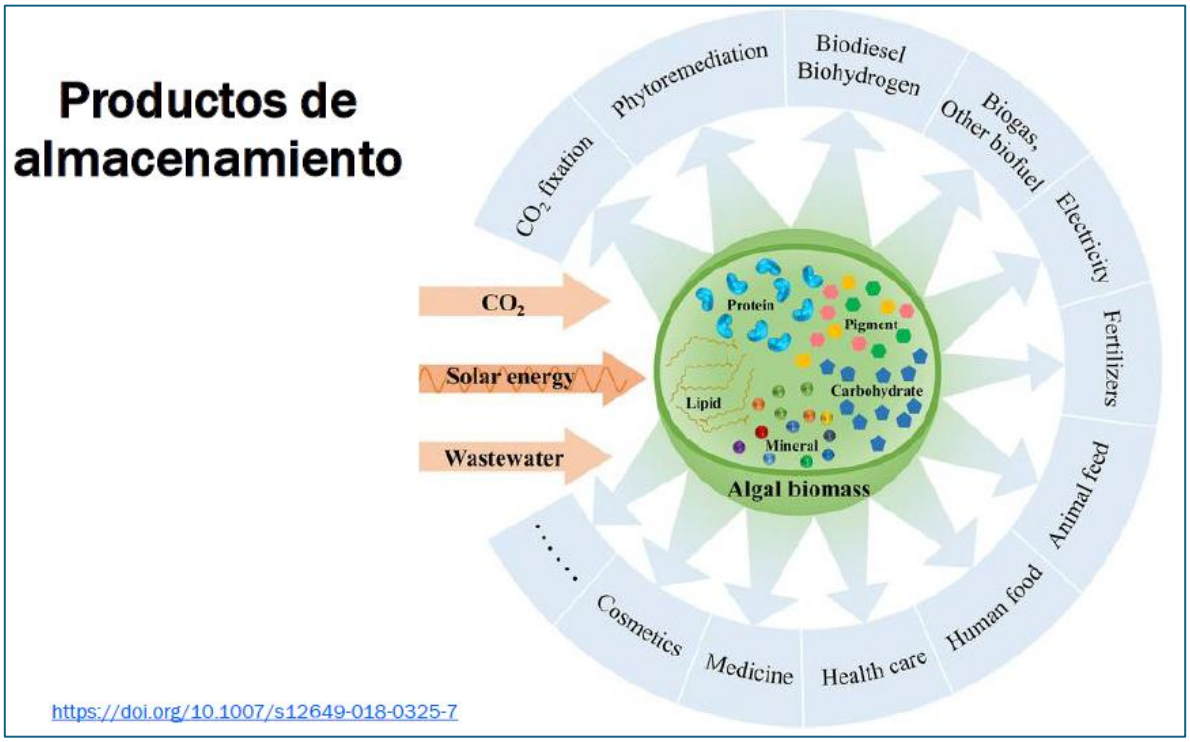
Reproducción en *Chlamydomonas* (organismo modelo)



https://doi.org/10.7554/eLife.39233

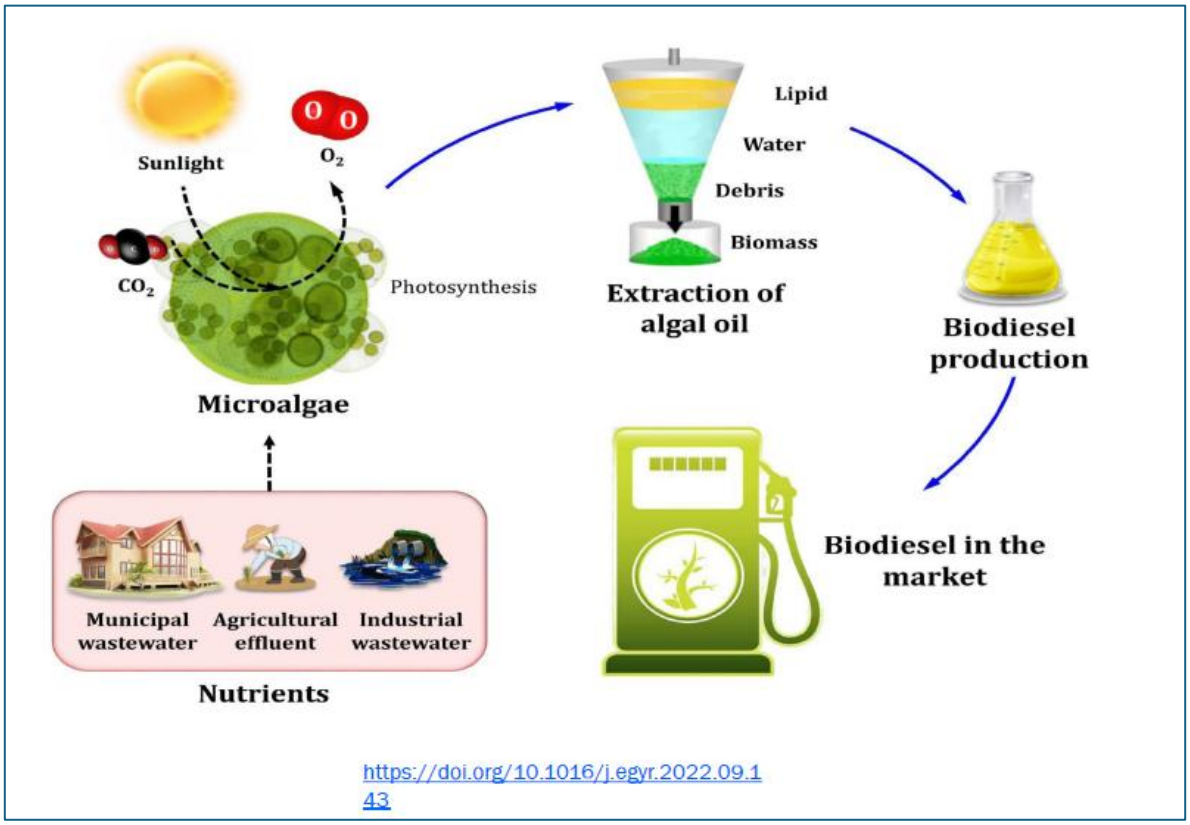
Chlamydomonas puede reproducirse de forma asexual o sexual, según las condiciones del ambiente. En condiciones favorables, se reproduce asexualmente por mitosis, generando varias células hijas iguales a la original. Cuando las condiciones son desfavorables, ocurre la reproducción sexual: las células forman gametos de dos tipos que se fusionan y originan un cigoto, el cual forma una zigospora resistente. Al mejorar el ambiente, esta zigospora germina, ocurre meiosis y se producen nuevamente células vegetativas, reiniciando el ciclo.

- **Diapositiva 40:**



En esta diapositiva podemos apreciar distintos productos de almacenamiento que pueden acumular las microalgas. Entre los más importantes se encuentran los carbohidratos, que funcionan como reserva energética; los lípidos, que se almacenan principalmente como aceites y son de gran interés para la producción de biocombustibles; y las proteínas, que representan una fracción relevante de la biomasa y tienen aplicaciones alimentarias y nutricionales. Además, las microalgas producen y almacenan pigmentos, como clorofilas y carotenoides, con funciones fotosintéticas y alto valor industrial, así como minerales, que se incorporan a su estructura celular y metabolismo. En conjunto, estos productos explican el amplio potencial biotecnológico de las microalgas.

- **Diapositiva 41:**



En esta diapositiva se ilustra el proceso para obtener biodiésel a partir de microalgas aprovechando sustratos como aguas residuales, tanto municipales como agrícolas e industriales. Durante su crecimiento, las microalgas pueden combinar fotosíntesis con un metabolismo heterótrofo que aprovecha estos sustratos, de manera que se producen y acumulan lípidos. Luego, la biomasa algal se cosecha y se procesa para realizar la extracción de los lípidos, separándolos del agua y de otros restos celulares. A partir de este aceite algal, se lleva a cabo un proceso químico que permite la producción de biodiésel, el cual finalmente puede ser distribuido y utilizado como combustible. En conjunto, la imagen muestra un flujo integrado que conecta captura de CO_2, aprovechamiento de residuos y producción de energía renovable.

- **Diapositiva 42:**

A pesar del gran potencial de las microalgas para la producción de biocombustibles, existen importantes limitaciones que dificultan su aplicación a gran escala. Desde el punto de vista técnico, muchas especies presentan una baja productividad lipídica, la cosecha de la biomasa es costosa y el proceso requiere un alto consumo de agua y nutrientes. En el ámbito económico, estos factores se traducen en altos costos de producción, dificultades para la escalabilidad industrial y una fuerte competencia con otras fuentes de energía más consolidadas. Además, desde la perspectiva de la eficiencia energética, el balance energético suele ser bajo, ya que el proceso depende en gran medida de energía externa para el cultivo, la cosecha y la extracción de lípidos. En conjunto, estas limitaciones explican por qué la producción de biocombustibles microalgales sigue siendo un desafío tecnológico y económico, y un área activa de investigación biotecnológica.

- **Diapositiva 43:**

Estrategias para mejorar la viabilidad de los biocombustibles microalgales

- Ingeniería genética
- Fotobiorreactores eficientes
- Uso de aguas residuales
- Producción de bioproductos adicionales
- Captura de CO_2 industrial

Para mejorar la viabilidad de los biocombustibles microalgales, se están desarrollando diversas estrategias biotecnológicas. Una de ellas es la ingeniería genética, que permite modificar microalgas para aumentar la producción de lípidos o mejorar su tolerancia a condiciones de cultivo. Otra estrategia clave es el diseño de fotobiorreactores más eficientes, que optimizan el uso de la luz, el CO_2 y los nutrientes, reduciendo pérdidas y costos. Además, el uso de aguas residuales como fuente de agua y nutrientes permite disminuir el consumo de recursos y, al mismo tiempo, contribuir al tratamiento de efluentes. La producción de bioproductos adicionales, como pigmentos, proteínas o compuestos bioactivos, ayuda a mejorar la rentabilidad del proceso mediante un enfoque de biorrefinería. Finalmente, la captura de CO_2 de fuentes industriales para alimentar el cultivo de microalgas permite integrar estos sistemas en esquemas de economía circular y mitigación del cambio climático. En conjunto, estas estrategias buscan hacer que los biocombustibles microalgales sean técnica y económicamente más sostenibles.